講座

プラズマ実験におけるデータ処理Ⅳ

4．実験データ処理システムの例

4.3 JIPP T-IIU のデータ処理

小嶋　護，秀熊　茂
居田克巳，佐藤浩之助
（核融合科学研究所）
（1996年11月5日受理）

Examples of Data Processing Systems
Data Processing System for JIPP T-IIU

KOJIMA Mamoru, HIDEKUMA Shigeru, IDA Katsumi and SATO Kohnosuke
National Institute for Fusion Science, Nagoya 464-01, Japan
(Received 5 November 1996)

Abstract

JIPP T-IIU had been running for about 20 years when it was shutdown in September of 1995. The latest JIPP T-IIU data processing system is based on the VAX cluster and the CAMAC serial highway of optical fibers. The experimental data acquired and analyzed are stored in sharing disks of the VAX cluster. With regard to data processing software, all parameters and data required for data acquisition were written in the shared memory. The system's wide flexibility is made possible by using the list structure in the data processing. By introducing the object-oriented method in the shot-synchronous analysis, the sequence of the data analysis can be controlled regardless of the physics contents. Advantages and disadvantages of data acquisition using VAX cluster are also discussed.

Keywords:

JIPP T-IIU, data processing, VAX/VMS, CAMAC, VAX cluster, object-oriented data analysis

4.3.1 はじめに

JIPP T-IIU 装置のためのデータ処理システムは，1977年度に電子計算機センターの大型計算機と実験室のミニコンピュータ（日立製，HITAC）をオンライン接続したところからスタートした．当初は60kバイト／放電（ショット）程度だったデータ量も10年間で10倍以上となり，それまでのシステムでは対応できなくなったため，1988年度にデータ処理システムを当時スーパー・ミニコンピュータと呼ばれていたDEC社のMicro VAX IIを使用したシステムに更新した[1]．このシステムでは当初2.6Mバイト／ショットのデータを3分以内に処理することができたが，新しい計測器の増加とともにデータ量も増え続け，3年を経過して8Mバイト／ショットを越えるようになっていた．この頃，Micro VAX IIの処理能力も限界にきていたため，イーサネットLANで接続された3台のVAXワークステーションにも解析処理を分散して並列に実行する試みが行われ，その結果，解析処理にかかる時間が半分の約2分で済むようになった[2]．

しかし，その後さらに増加したデータの収集に時間がかかるようになり，ついに次のショットまでに処理を完了できなくなった．このため，次期実験装置(LHD)の

ためのデータ処理システムのR&Dを既存のJIPP T-IIU装置を利用して行う必要性もあり，1992年度にMicro VAX IIからVAX6410を中心としたVAXクラスタ・システムへと移行した[3]．このシステムでは8Mバイト／ショットのデータを2分以内に処理できたが，1995年9月の実験終了時には3倍の24Mバイト／ショットのデータを処理していた．以下に，VAXクラスタ・システム（オペレーティング・システムはVMS）を使用したJIPP T-IIUデータ処理システムについて概要を説明する[4,5]．

4.3.2　ハードウェア構成

このシステムは大容量データの転送時間を最小にするため，階層構造は採用せず，直接VAX計算機にCAMACインターフェースを接続してデータ収集，ショット間解析，格納保管のすべての処理を行っている．そのハードウェア構成はFig. 1に示すようになっており，複数のVAX計算機のクラスタ・システムとCAMACシステムから構成される．VAXクラスタ・システムの中核となる2台のVAX計算機(VAX6410, VAX6510)は，CI (Computer Interconnect)と呼ばれる70Mbpsの高速バスで相互接続装置であるCIスター・カプラにより接続される．このCIスター・カプラには階層型ストレージ・コントローラ(HSC40)を介して4台の磁気ディスク（合計5.4Gバイト）が接続されており，これら2台のVAX計算機で共有されている．また，4台のVAXワークステーションがイーサネットLANを介してこのVAXクラスタ・システムに組み込まれている．この他には，実験データ表示用にX端末が2台と，ターミナル・サーバーに接続されたグラフィック端末3台とパーソナルコンピュータが複数台，そしてレーザー・プリンタが3台接続されている．実験側では主なプロトコルとしてDECnetとLAT (Local Area Transport)を使用しており，実験側イーサネットLANと所内イーサネットLANのトラフィックを分離して，相互に影響を受けないようにするためにブリッジで接続されている[6]．また，Telnetなどの TCP/IPプロトコルを使用したアプリケーションも利用できるように，DECnet/LATとTCP/IPの双方向プロトコル変換を行うゲートウェイとしてUNIXワークステーション(DEC社，DECstation2100)も設置されている．

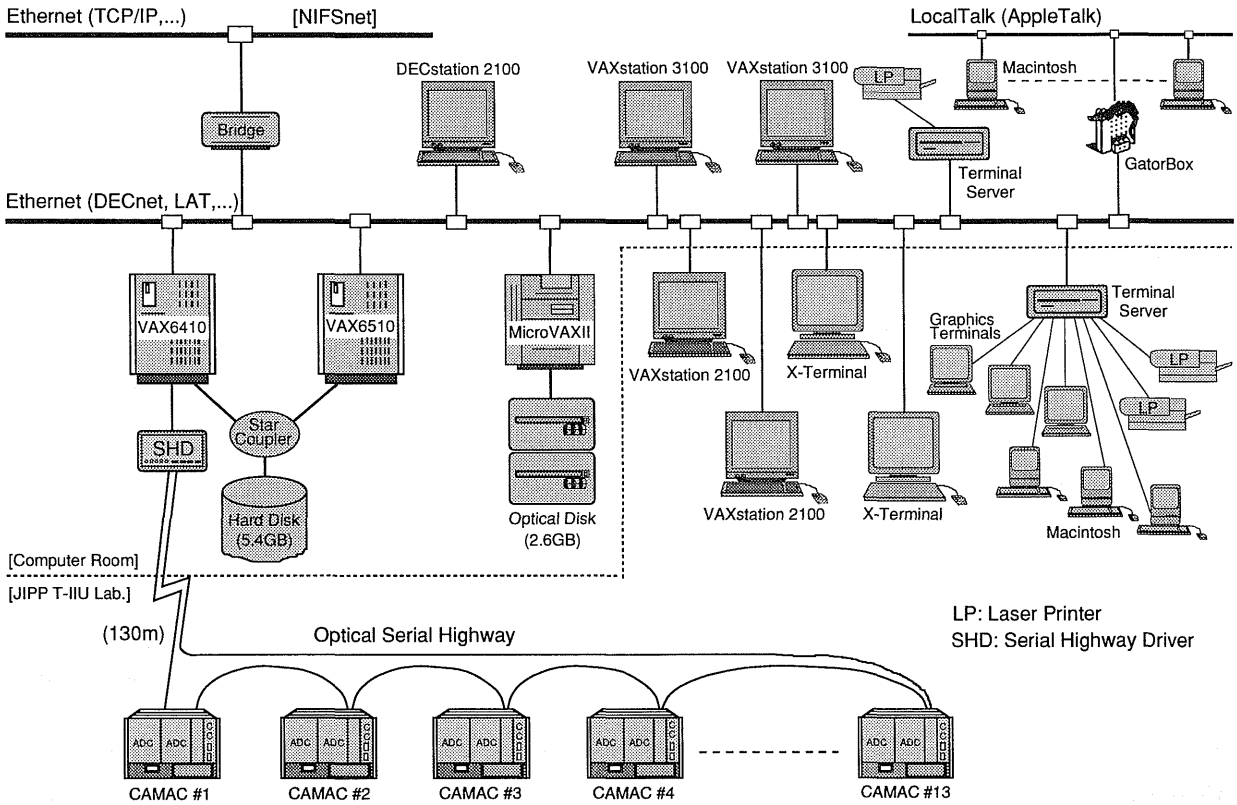

Fig. 1　Hardware configuration for the data acquisition and analysis system of JIPP T-IIU.

4.3.2.1 データ収集部

データ収集にはCAMACシステムを使用しており，VAX6410計算機に接続されたCAMACバイト・シリアル・ハイウェイ・ドライバ(Kinetic社，2165)に光ファイバで13台のクレートが接続されている[7]．データのビット・マスクや並べ換えなどのソフトウェア処理も含めた総合的な平均転送速度は120kバイト／秒（ノーマル・モード時）である．16種類のCAMACモジュール100台で約500チャネルのデータを収集した場合の総データ量は約24Mバイト／ショットであり，これらのデータはすべて64Mバイトのメモリ容量を持つVAX6410計算機の主記憶メモリ上にショット直後に転送されて次のショットまで保存される．

4.3.2.2 データ表示・解析部

ショットに同期したデータ解析の中心となるVAX6410計算機は，クラスタ内の他の計算機と1.2Gバイトのシステム・ディスクと1.2Gバイトのユーザ・ディスク，および3Gバイトのデータ・ディスクを共有している．機能毎にディスク装置を分割して使用しているので，ソフトウェアのアップグレードやデータのバックアップが容易になっている．このシステムには共同研究者も含めて約180人のユーザが登録されている．収集データや解析データは，共有データとしてVAX6410計算機の主記憶メモリ上に1ショット分が格納されるので高速に参照することが可能である．データの表示はすべてネットワークを介して行われ，ターミナル・サーバーに接続されたグラフィック端末や，X-Windowサーバーとなる VAX ワークステーションやX端末などに表示され，画面のハードコピーは選択したレーザー・プリンタに出力される．クラスタ内の計算機間であっても主記憶メモリは共有できないが，VAX6410計算機以外からもネットワーク転送を利用してメモリ上のデータ表示・解析が可能となっている．ショットに非同期なデータ解析の中心となるVAX6510計算機は64Mバイトのメモリ容量を持ち，主に会話型データ解析ソフトウェアを使用して共有ディスクに格納されたデータを用いて解析が行われる．

4.3.2.3 データ格納部

実験データの1週間以内の短期保存にはストライプ・ディスクとして構成された1.5Gバイト×2台の磁気ディスクが使用される． ストライプ・ディスクは複数のディスクを1つの仮想ディスクとして扱うことができ，1つの入出力を複数のディスクに分散して発行できるので，負荷を分散して書き込み／読み出しを高速に行うことができる．また，実験データの長期保存には12インチの光ディスクが使用され，両面で2.6Gバイトの光ディスク装置2台がMicroVAX IIに接続されている[8]．磁気ディスク上の実験データはネットワーク経由で定期的にこの光ディスクにバックアップされる．この他，放電特性を表す解析処理された物理データの概要を提供するサマリー・データベースも構築されており，456Mバイトの磁気ディスク上に最新の約5,000ショット分が格納されている．

4.3.3 ソフトウェア構成

プラズマ実験に限らず，日々，月々，年々進展していく実験のデータ処理においてはコンピュータによる完全自動化は不可能であり，それゆえ，データ処理ソフトウェアには使い易さ,自由度や拡張性の高さが要求される．本システムではこれらの要求を満たすため4.3.3.1および4.3.3.5で述べるように，制御データや実験データをすべてリスト方式で管理するデータ構造を，主記憶上の共有メモリ領域に構築し，データ処理に必要とされるすべての操作・機能を実現している[9]．データ処理ソフトウェアの中心となるデータ構造と関連するソフトウェアの構成をFig. 2に示す．データ収集プロセスは，ショット終了後にモジュール制御データの内容に従ってCAMACシステムから順次データを収集し，共有データ領域に格納する．必要な入力データの準備が整うとショット間解析プロセスは自動的に解析を行い，解析結果を共有データ領域に格納する．収集データ，解析データはそれぞれプロセスの処理が終了した時点で，格納保存プロセスによりショット・データとしてディスクに書き出され，同時にサマリー・データベースも作成される．リアルタイムの表示プロセスは，表示に必要なデータの準備が完了したものから順次結果をディスプレイに表示する．このようにショットに同期して動作する各プロセスは，データによって駆動され，必要とされるときに必要なデータを生成する．これらのデータ処理アプリケーション・プログラムはすべてユーザにより開発，保守されている．

4.3.3.1 共有データ構造

データ処理に必要な全てのデータを共有メモリ上に作成してショット間で動作するプログラムの高速処理を実現している．共有メモリ上のデータ構造は次の2つに分かれている．

(1) データ収集用の制御データ構造と，収集した1ショット分のデータを格納・管理するためのデータ構造

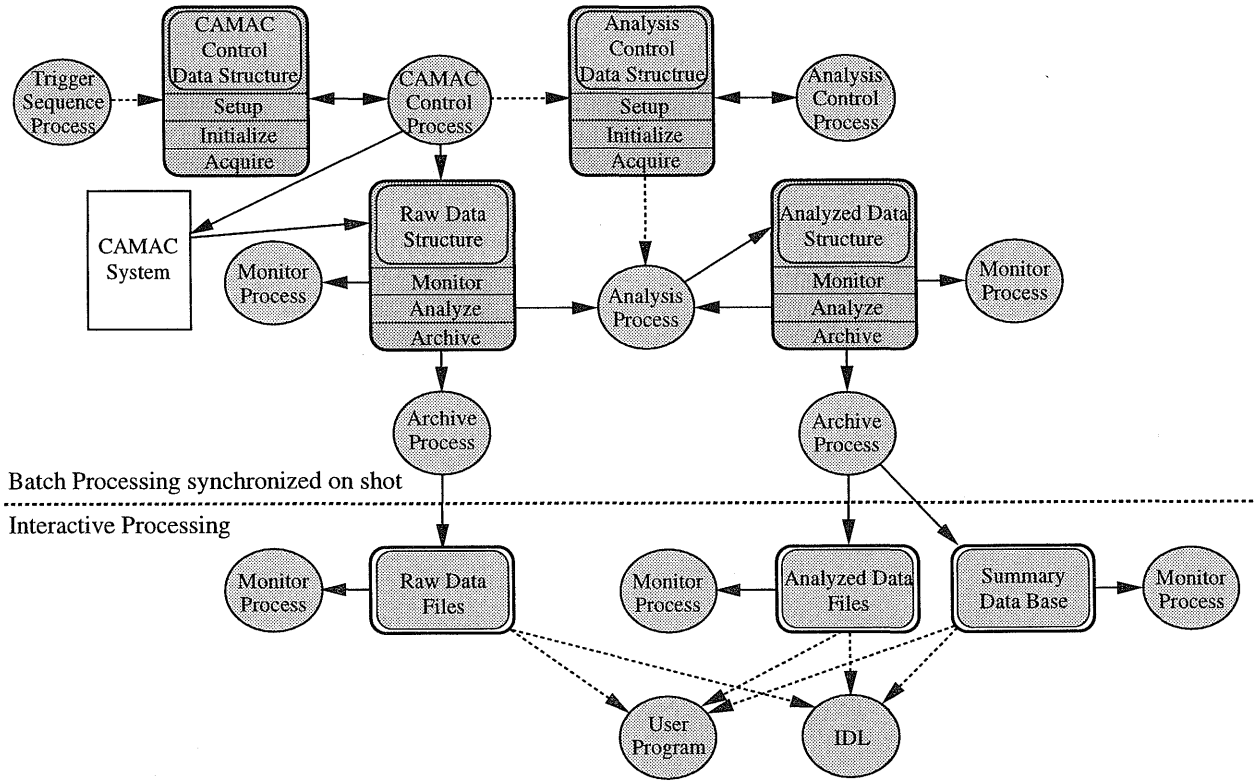

Fig. 2　Block diagram of the relationship between experimental data structures and related process.

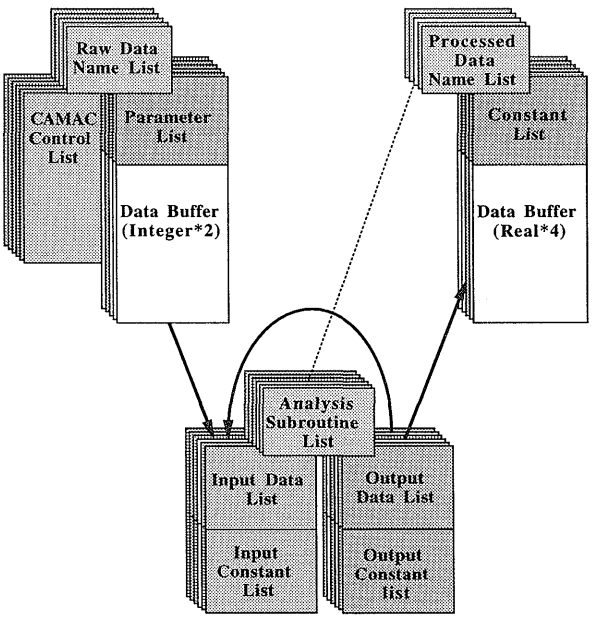

Fig. 3　Schematic view of internal structure of data sharing and control flow for object-oriented analysis.

(2) データ解析用の制御データ構造と，1ショット分の解析結果を格納・管理するための解析データ構造

Fig. 3 に本システムの中心となる共有データ構造を示す．データ収集用の制御データはすべてリスト構造を持つテーブルにより管理されており，データ収集全体の動作を規定し管理するためのテーブル，CAMAC の設定データやモジュール制御情報を持つテーブル，データの変換係数など主に利用者とのインターフェースに使用されるテーブルから構成される．データ解析用の制御データもすべてリスト構造を持つテーブルにより管理されており，データ解析全体の動作を規定し管理するテーブル，各解析サブルーチンを管理するテーブル，解析に使用される係数などの定数を管理するテーブルから構成される．各解析サブルーチン・テーブルはさらに入力引数テーブルと出力引数テーブルも同時に管理している．ショットに同期して処理を行うプログラム中には固有のデータを持たず，これらのテーブルの内容（データ）により実際の処理が行われる．このようにデータとプログラムを分離して，処理内容に自由度と拡張性を持たせ，複雑に変化する実験に対応できるようにしている．

4.3.3.2 データの種類

実験データは実験に同期したリアルタイム処理で使用される共有メモリ上のデータと，インターラクティブに使用されるディスク上のファイル・データに分けられる．CAMAC から収集された生データは，すべて16ビットのバイナリ・データとして，そして物理量に変換処理された解析データは，実数データとしてそれぞれ共有データ領域に格納される．実メモリ上には1ショット分のデータ・バッファ領域しか取れないため，次のショットまでにメモリ上のデータを磁気ディスクなどの外部記憶装置に格納する必要がある．生データはすべての収集が完了した時点で，解析データはすべての解析処理が完了した時点でディスクにそれぞれ1つのデータ・ファイルとして書き出される．このほか，解析データの中からショットの概要を示す代表的なパラメータを抜き出し間引いたデータベース・ファイルも同時に作成される．このデータベース・ファイルは1ショット16B／レコードの固定長で索引付順編成ファイル（ISAM ファイル）として作成され，例えば，プラズマ電流の最大値や持続時間，NBI 追加熱の有無などのキーによって高速に検索することが可能である．

4.3.3.3 収集ソフトウェア

ショット中のデータはすべて CAMAC モジュールのメモリに蓄積して，モジュールからの割り込み要求信号である LAM (Look-At-Me) を使用せずショット終了後に計算機に転送する方式を採用した．これによりデータ収集プログラムは非常に簡潔になり，プログラムの保守も容易になっている．また，CAMAC モジュールの制御・設定パラメータなどは実験データの内容とは独立にテーブルで管理されているので，収集プログラム自身の汎用性や拡張性も高くなっている．過去に登録されたモジュールと同じ種類のモジュールであれば，その追加モジュールは収集プログラムを変更することなく，テーブルへの登録のみで直ちに使用することができる．また，CAMAC モジュールからのデータ収集の順序は0～7の優先度レベルにより変更可能で，必要に応じて収集順序を制御することができる．

4.3.3.4 表示ソフトウェア

リアルタイムの実験データはすべて VAX6410 計算機のメモリ上に展開され，共有データ領域としてすべてのプログラムから参照が可能である．一方，メモリ上の実験データは各処理が完了した段階で共有ディスクに書き込まれ，データ・ファイルとして他の計算機からもアクセス可能となる．表示プログラムはこれらのいずれのデータであっても，編集可能な表示設定ファイルに記述された表示フォーマットに基づいて表示することができる．生データ表示プログラムは，実験データを CAMAC モジュールの入力値に変換して，ショット終了後5秒程度で高速に表示することができる．表示設定データをチャネル単位で指定できるので，新規モジュールのデータであってもプログラムの変更をせずに表示が可能である．解析データ表示プログラムは，解析後の物理量をそれぞれの形式で1つの画面上に任意に組み合わせて表示することができる．これらの表示プログラムには，オートスケールや重ね書きなどのグラフに関するものはもとより，Macintosh コンピュータのアプリケーションで直接扱えるような形式のデータ・ファイルを作成するなど様々なオプションが用意されている．

4.3.3.5 解析ソフトウェア

収集したデータから物理的な意味のあるデータに変換するための解析処理は，その処理内容から分類すると次の2つになるが，それぞれの場合について以下に説明する．

(1) すでに処理内容が確定していて，ショットに同期して自動的に解析が行われるもの（ショット間解析）
(2) 計測器の開発段階にあって，その処理内容が未確定で会話的に処理が行われるもの（会話型解析）

(a) ショット間解析

従来のプログラミング手法では，処理内容はあらかじめプログラムされた順番に従って処理が行われ，その全体の流れをスケジューラにより管理するのが一般的である．ところが，この方法では解析処理を行うために必要なすべてのデータを各処理毎に把握して，時間的な流れの中でプログラムに反映させなければならない．他の解析結果を必要とする処理が複雑に絡み合っている場合には，全体をスケジュールするにはすべての関係を知る必要があり，処理の最適化をはかることは容易なことではない．また，解析内容の変更があるたびにすべての関係を考慮してプログラムを変更しなければならない．これに対して，JIPP T-IIU のデータ処理で採用されたオブジェクト指向データ解析手法は全く異なったアプローチをとる[10]．先の Fig. 3 には，データ構造とともに解析制御の処理の流れも示されている．実験データを標準化して統一的に管理し，あるデータを変換して次のデータを得るための処理機能，つまり解析サブルーチンを定義して，この解析サブルーチン自身を制御するための情報である入力引数と出力引数もリスト・データとして管理する．この場合，解析サブルーチンの起動は制御情報である入力引数のリスト・データにより行われるので，

全体の流れを管理するスケジューラは特に必要ではない．これをショット間のデータ解析の面からみると，次のようになる．

① 種々の解析サブルーチンを並列的に同等に管理して，個々の解析サブルーチンの入力データ（検出器から得られたデータ，または解析後の物理パラメータ等）の準備完了を十分条件として解析サブルーチンを起動する

② 処理①を管理されている解析サブルーチンがなくなるか，入力データの準備が不可能になるまで続ける

この方法では，解析サブルーチン相互の関係はデータだけであり，解析サブルーチンの実行順序ではないことが重要で，これは解析処理が物理内容に依存していないことを意味している．このことは，プラズマ実験で頻繁に発生する解析内容の変更にも容易に対応できることを示しており，さらに共有メモリ上にある出力データの重複書き込みを管理すれば，解析サブルーチンを複数の計算機に分散して並列に実行することも可能である．データ処理プログラムはほとんどC言語で記述されているが，個々の解析サブルーチンは数値計算ライブラリなどの充実しているFORTRAN言語で記述されている．本システムで解析可能な総データ数は約330あり，230のデータ解析を行うのに60秒程度必要である．

(b)　会話型解析

個々の計測に独自な表示・解析処理には，市販の数値計算機能の充実した会話型データ解析ソフトウェアのIMSL/IDLが使用される[11]．IMSL/IDLを使用することによって，複雑なプログラミングをしなくても実験データを会話的に解析・表示することができる．実験データ取得用プロシージャを使用することにより，生データ・ファイル，解析データ・ファイル，サマリー・データベース・ファイルから，必要なデータをIMSL/IDLの配列変数に直接取り込むことができる．また，あらかじめ解析プログラムが用意できない新しい計測器の開発段階では，IMSL/IDLを使用して検出器から得られた生データをさまざまな角度から処理・表示を行い検討を加えながら計測器の開発が行われた（YAGトムソン散乱，HIBP, 高速CXRSなど）．これらは最終的に解析処理手法が確立した時点で，IMSL/IDLの専用言語からFORTRAN言語に変換され，各々の計測用解析サブルーチンとしてデータ処理プログラムのショット間解析プログラムに登録されることになる．

4.3.3.6　格納保管ソフトウェア

実験データは1週間くらいの短期的には磁気ディスクに保存され，長期的にはリムーバブルな大容量光ディスクに保存される．これらの異なったメディアに，しかも格納場所が時間的に変化するデータを管理するために，ファイルの格納場所の情報をインデックス・ファイルとして持っている．インデックス・ファイルは，格納保管プログラムによりデータ・ファイルが作成されるときに自動的に更新される．このファイルは高速操作が可能なISAMファイルとして実現されており，45,000ショット余りのインデックスをショット番号や日付などをキーにして1秒以下で検索することができる．データ表示プログラムやIMSL/IDLの実験データ取得用プロシージャ，利用者プログラム用に提供されているデータ取得ライブラリなどは，このインデックス・ファイルを通して格納されたデータ・ファイルにアクセスする．実験データはすべて共通のデータとして管理されており，すべての実験関係者に公開されている．

4.3.4　おわりに

本システムは，ソフトウェアを含めてデータ処理システムを構築しているすべての構成要素を容易に並列化することが可能で，プラズマ実験に特有な処理能力の拡張，変更，障害などに迅速に対応できる点が最大の特徴である．VAXクラスタ・システムは，実験の進展に合わせてCPUやディスクなどの資源を追加して柔軟に，しかも容易にシステムを拡張できるという点は非常に優れたものである．また，ディスク資源を共有しているので，クラスタ内の計算機のシステム・ソフトウェアのアップグレードやバックアップ，ユーザ管理などといったシステム自身の管理が容易である点も長所である．一方，CPU負荷の高い大容量のデータ解析をマルチユーザで同時に行う場合，並列に実行される処理の数に比例してパフォーマンスが低下する点は問題であり，処理機能ごとに計算機を分離した機能分散型システムをマルチユーザで使用するところがウィーク・ポイントとなる．また，原則的には異機種の計算機をクラスタ・システムのノード（計算機）として組み込むことができない点もシステム構成に制限をもたらす．さらに，近年のパーソナルコンピュータの処理能力の向上や周辺機器を含めたハードウェアの低価格化と比較して，VAXクラスタ・システムではアップグレード（CPU, メモリ，ディスク，ソフトウェアなどの）や保守にかかる費用が高価なため，価格対性能比からみた場合には不利である．ライト・サイジングの時流の中にあって，どこまでそのアドバンテージを保っていけるかは定かではないが，JIPP T-IIU装

置のシャットダウンにあたり，VAX クラスタを使用したデータ処理システムも，その責務は十分果たしたと考えられる．

今日でも，JIPP T-IIU のデータ処理とほぼ同じソフトウェアが，原研 (JFT-2M) および京大ヘリオトロン (Heliotron-E) のデータ処理システムの一部（CXRS 計測等）として稼働している．この両者のシステムはいずれも VAX/VMS を使用しているが，ハードウェア構成は JIPP T-IIU のシステムとは異っている．このことからもわかるように JIPP T-IIU のデータ処理ソフトウェアは非常に移植性の高いものとなっている．現在，JIPP T-IIU データ処理システムの開発の中で実現されたアイデアや経験は，次の大型ヘリカル装置 (LHD) のデータ処理システムの開発の中に有効に生かされてきており，さらに発展した形で実現される日も近づいている．

参考文献

[1] 秀熊　茂他：プラズマ研究所月報 Vol.5, No.8, p.1 (1988).

[2] S. Hidekuma *et al.*, Ann. Rep. NIFS, p.120 (1989-1990).

[3] M. Kojima *et al.*, Ann. Rep. NIFS, p.133 (1992-1993).

[4] 日本ディジタル・イクイップメント　教育部編：「VAX アーキテクチャ・ハンドブック」（共立出版，東京，1986）．

[5] 日本ディジタル・イクイップメント：OpenVMS ユーザーズ・マニュアル（東京，1993）．

[6] Digital Equipment Corporation, DECnet for OpenVMS Networking Manual (Massachusetts, 1993).

[7] Kinetic Systems Corporation, Model 2165 Enhanced Serial Highway Driver for VAXBI (R) INSTRUCTION MANUAL (Illinois, 1989).

[8] アドバンストシステムズ：OPCA11 光ディスク記憶装置取扱説明書（東京，1985）．

[9] R. L. クルーズ，B. P. ロング，C. L. トンド：「C によるデータ構造とプログラム設計」(トッパン，東京，1994)．

[10] 石塚圭樹：「オブジェクト指向プログラミング」(アスキー出版局，東京，1993)．

[11] IMSL, Inc., IMSL/IDL User's Guide (Texas, 1992).

連絡代表著者 E-mail　kojima @lhd.nifs.ac.jp